

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Mikrofrézování kalené oceli

Micro Milling of Hardened Steel

Student:

Marek Pěchouček

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2009

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 22.5.2009

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 22.5.2009

.....

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pěchouček, M. Mikrofrézování kalené oceli. Ostrava: katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009, 46 s. Bakalářská práce, vedoucí Vrba,V.

Bakalářská práce řeší problematiku mikrofrézování kalené oceli. Úvodní kapitola se zabývá obecnou charakteristikou mikrofrézování při výrobě lisovacích nástrojů a forem. Následující stať srovnává technologii mikrofrézování a technologii elektroerozivní obrábění v průmyslovém strojírenství. Třetí bod práce je zaměřen na analýzu a požadavky řídicího programu při mikrofrézování. Následující bod definuje vhodný stroj pro mikrofrézování. V praktické části bakalářské práce je uvedena diskuse experimentálních prací ve strojírenské praxi. V závěrečné části bylo provedeno technicko ekonomické zhodnocení praktické zkoušky mikrofrézování kalené oceli a elektroerozivního obrábění kalené oceli.

ANNOTATION OF BACHELOR WORK

Pěchouček, M. Micro milling of Hardened Steel. Ostrava: Department of Working and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2009, 46 p. Thesis, head: Vrba, V.

The Bachelor work is dealing with Micro milling of Hardened Steel. The first part describes general characteristic of Tools and Moulds production by micro milling. Following is comparing Micro milling and Electro Discharge Machining in Industry Engineering. In the third capture is performed the analysis and requirements of individual leading software for Micro milling. Following point of this work is definon of the right machine for Hardened Steel Micro milling. Experimental part of this work is experimental discussion in Industry Engineering field. In final part was made comparison between results of Micro milling and Electro Discharge Machining Working of Hardened Steel.

Obsah bakalářské práce:

Seznam použitého značení	7
Seznam zkratk.....	7
Úvod	8
1. Obecná charakteristika daného problému	9
1.1 Představení společnosti Hettich ČR k.s.	9
1.2 Mikrofrézování při výrobě lisovacích nástrojů a forem	10
2. Porovnání technologie mikrofrézování a elektroerozivní hloubení	12
2.1 Technologie mikrofrézování	12
2.1.1 Volba nástroje pro mikrofrézování	13
2.1.2 Přednosti mikrofrézování	13
2.1.3 Nedostatky mikrofrézování	14
2.2 Elektroerozivní obrábění	14
2.3 Základní metody elektroerozivního obrábění	16
2.3.1 Elektrojiskrové hloubení	16
2.3.2 Elektrojiskrové řezání.....	18
2.3.3 Dielektrikum	19
2.3.4 Nástrojové elektrody	21
3. Požadavky řídicího programu pro mikrofrézování	23
3.1 Uplatnění Cimatronu E	23
3.2 Charakteristika Cimatronu E	24
3.3 Cimatron E - praxe	25
3.4 Zhodnocení řídicího programu Cimatron E v. 8.5	26
4. Návrh vhodného stroje	27
4.1 Základní podmínka mikrofrézování	27
4.2 HSC obráběcí stroje - charakteristika.....	27
4.3 Výhody a nevýhody HSC	29
5. Diskuse experimentálních prací	29
5.1 Experimentální zkouška obou technologií	29
5.2 Technologie – elektrojiskrové hloubení	32
5.3 Technologie – mikrofrézování	33

5.4	Technicko – ekonomické zhodnocení	34
5.4.1	Technicko – ekonomické zhodnocení - elektrojiskrové hloubení	35
5.4.2	Technicko – ekonomické zhodnocení - mikrofrézování	35
5.5	Závěrečné zhodnocení.....	35
	Seznam použité literatury	37
	Seznam příloh	38

Seznam použitého značení

Zkratka	Výklad	Jednotka
a_p	axiální hloubka řezu	[mm]
f	posuv	[mm]
D	průměr frézy	[mm]
L	délka frézy	[mm]
n	otáčky	[1/min]
R_a	průměrná aritmetická úchylka profilu	[μ m]
v_c	řezná rychlost	[m/min]
v_f	posuvová rychlost	[m/min]
λ	úhel sklonu ostří bříty	[°]

Seznam zkratk

Zkratka	Kompletní název	Překlad
<i>EDM</i>	Electro Discharge Machining	elektroerozivní obrábění
<i>CAD</i>	Computer Aided Design	konstruování s počítačovou podporou
<i>CAM</i>	Computer Aided Manufacturing	řízení výroby s počítačovou podporou
<i>CNC</i>	Computer Numerical Control	počítačem číslicově řízený stroj
<i>DIY</i>	Do It Yourself	udělej si to sám
<i>HC</i>	Hard Cutting	tvrdé obrábění
<i>HRC</i>		tvrdost měřená dle Rockwella(diamant)
<i>HSC</i>	High Speed Cutting	vysokorychlostní obrábění
<i>HVC</i>	High Volume Cutting	vysoko objemové obrábění
<i>HW</i>	Hardware	technické vybavení počítače
<i>NC</i>	Numerical Control	číslicově řízený
<i>RP</i>	Rapid Prototyping	rychlá výroba prototypů
<i>SW</i>	Software	programové vybavení počítače

Úvod

Současný technický pokrok vyžaduje vyvinutí nových technologií výroby, které přinášejí jednak zvyšování užitných vlastností materiálů, ale také optimalizaci a produktivitu vlastní výroby.

Tlak na zvyšování produktivity, zkracování výrobních lhůt a snižování nákladů ve strojírenství je stále vyšší. Jednou z možností, jak tomuto tlaku úspěšně čelit, je změna dokončovacího frézování směrem k užívání mikrofréz. Zvláště aktuální je to pro firmy, které kombinují technologii frézování a elektroerozivní obrábění (EDM).

Tato bakalářská práce obsahuje téma, které plně zapadá do rámce výše uvedených predikcí. Zabývá se problematikou mikrofrézování a EDM ve firmě HETTICH ČR k.s.

1. Obecná charakteristika daného problému

1.1 Představení společnosti Hettich ČR k.s.

Na počátku dějin a tradic firmy byl jeden vynález. Karl Hettich vyvinul inovační díl ke kukačkovým hodinám a založil v roce 1888 malou továrnu ve Schwarzwald. Další generace se v roce 1930 rozhodla založit novou pobočku ve východním Vestfálsku, které bylo tehdy centrem německého nábytkářství. Od roku 1966 je sídlo firmy v Kirchlengernu (cca 25km severně od Bielefeldu). Podnik je v současnosti opět ve 100% vlastnictví rodiny Hettich.

Společnost Hettich International, patří k největším výrobcům nábytkového kování na světě. Výrobní sortiment zahrnuje závěsy, výsuvy, zásuvky, spojovací kování pro vnitřní vybavení skříní až po komplexní systémy kování, které zvyšují užitnou funkci nábytku. V současnosti se nabídka produktů rozšířila o moduly a náročné komponenty pro telekomunikaci, automobilový průmysl, stavební průmysl a kuchyňské spotřebiče. Pro Hettich pracuje cca 6 000 zaměstnanců ve více než 100 zemích světa. Výrobní závody skupiny se nacházejí v Německu, Španělsku, České republice, Brazílii, USA, Rusku a Číně. Odbytové pobočky působí ve Velké Británii, Francii, Itálii, Skandinávii, Polsku, Slovensku, Kanadě, Japonsku, Austrálii, na Novém Zélandě a v Hong-Kongu.



Tlakové lití zinku

Vstřikování plastů

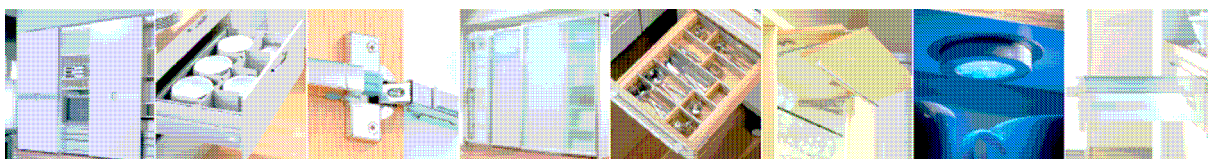
Logistika

Skladové hospodářství

V České republice je zastoupena společností Hettich ČR k.s., výrobním závodem se sídlem ve Žďáru nad Sázavou, který byl založen roku 1993.

V současné době firma Hettich ČR k.s., zaměstnává přes 650 lidí. V loňském roce byla firma Hettich rozšířena o nové výrobní haly. Vznikl tak dostatečný prostor pro nejmodernější technologie i nové vývojové technologické centrum.

Vývoj a prodej Hettich International se člení na samostatně fungující tržní segmenty: nábytkářský průmysl, distributory kování, truhláře, železářství a hobby prodej (DIY) a divize Promodul - ostatní průmysl - automobilový, elektro, stavební kování, bílé zboží.



1.2 Mikrofrézování při výrobě lisovacích nástrojů a forem

Současný stav strojírenské výroby je charakterizován neustále rostoucími požadavky na složitost výrobků, tvarovou a rozměrovou přesnost a integritu povrchu, zejména funkčních ploch obráběného dílce, zaváděním nových druhů konstrukčních materiálů, zejména materiálů s nižší měrnou hmotností a vysokou pevností, titanových slitin, speciálních vrstvených hmot, polotovarů vyráběných práškovou metalurgií a metodami rapid prototypingu (RP).

Nástrojárny vyrábějící lisovací nástroje a formy na plasty musí při dokončování tvarových detailů realizovat stále komplikovanější výrobu dílců. Zároveň také je zde rostoucí tlak na zkracování výrobních dob, snižování výrobních nákladů a zvyšování produktivity. Velké procento dokončovacího obrábění se provádí finálním EDM. Jasně ovšem je, že se výroba současných forem a nástrojů bez eroze zatím neobejde. To, jak velký podíl na výrobě elektroeroze má, je závislé na řadě faktorů.

Tyto faktory (technologické, organizační, ekonomické, technické) si musí vyhodnotit každá firma sama. Zde si můžeme položit tyto otázky:

- jak finančně a časově náročná je naše technologie elektroeroze (modelování, programování, výroba elektrody a EDM)?
- jaký je rozdíl v pracnosti ručního leštění jiskřeného a frézovaného povrchu?
- jsou požadavky na tvarové detaily ze strany zákazníka, resp. naší konstrukce (vývoje) odůvodněné?
 - často se při důslednější diskusi zjistí, že ostré rohy nejsou nutné, ba co více, že malý rádius po fríze je pro díl vlastně prospěšnější!
- jsme vybaveni vhodnou technologií?

Technické faktory - určují reálné možnosti aplikace mikrofrézování na obráběcím stroji. Jsou to především:

- otáčky(n) a tuhost vřetena
- přesnost
- posuv(f) a zrychlení stroje
- řídicí systém stroje
- použité nástroje atd.

Velice důležitý technický faktor je výběr vhodného řídicího software (CAM), který musí splňovat následující body a musí být schopen dodržovat zásady vysokorychlostního obrábění (HSC):

- přesnost výpočtu v 0.0005mm (malé dráhy při mikrofrézování)
- plynulé najetí do řezu pomocí rampy (kapsy)
- rovnoměrnost odebíraného materiálu (trochoidní frézování - opracování libovolně široké drážky frézou o relativně malém průměru)
- plynulost dráhy nástroje (rádiusy v rozích)
- dostatečně široká sada obráběcích strategií

2. Porovnání technologie mikrofrézování a elektroerozivní hloubení

2.1 Technologie mikrofrézování

Pojem mikrofrézování je všeobecně definován jako obrábění miniaturní frézou. Miniaturní frézou rozumíme frézy s průměrem 0,05mm-2mm. Těmito rozměry nástrojů již na první pohled zapadají do definovaného oboru mikrofrézování.

Při definování dalších parametrů nástroje, jako je řezný materiál, geometrie a povlakování, se dostáváme opět do oblasti mikrotechnologií, neboť při výrobě mikronástrojů je potřebný extrémně jemný základní materiál s velikostí zrn od 0,2 do 0,5 μm .

Základní charakteristikou mikrofrézování je zkracování výrobních časů a odbourávání či vynechání některých operací, což má za následek snižování nákladů. Mikrofrézování se doposud používá nejvíce při výrobě grafitových či měděných elektrod, ale v posledních letech je tento pojem stále více spojován s možností finálního dokončování kalených ocelí (HC).

Pro správné užívání mikrofréz, respektive dosažení požadovaného optimálního výkonu, je nutno dodržovat řadu obecných zásad.

Mezi nejdůležitější patří:

- nepoužívat zbytečně dlouhý nástroj
- nastavení dostatečných otáček
- dodržování doporučených řezných podmínek výrobce
- kontrola házivosti nástroje
- vyfukování špon z prostoru obrábění
- při výměně opotřeбенé mikrofrézy vrátit program a část tvaru obrobit znova (eliminace schodovitosti na stěně)
- některé (vyspělé) řídicí systémy umožňují kontrolovat nástroj v průběhu obrábění (po určitém čase, po určité délce obrábění) [4]

2.1.1 Volba nástroje pro mikrofrézování

Vyspělí výrobci monolitních nástrojů dnes nabízejí mikrofrézy s průměry již od 0,05mm. Rozsah délek je v rozsahu 3 – 25násobku průměru nástroje. Právě v oblasti mikrofrézování platí zásada, že volíme pokud možno co nejkratší nástroj! Maximální pozornost výrobce je věnována přesnosti geometrie tvaru ostří (λ). Přesnost průměrů (D) mikrofréz firmy HITACHI, s kterou spolupracuje naše firma je $\pm 0,005\text{mm}$. Tento požadavek je vynucen nutností maximálního vyvážení nástroje pro vysoké otáčky. Zvláštní péče výrobce je pochopitelně soustředěna i na povlak. U takto malých nástrojů enormně stoupají nároky na vlastnosti povlaku (malá tloušťka, odolnost proti otěru a kvalita povrchu).

2.1.2 Přednosti mikrofrézování

Praktické pravidlo, kdy končit s frézováním, nelze stanovit. Všichni se většinou shodují na zásadě, že co lze na jedno upnutí na frézce ofrézovat, to se ofrézuje. Limitní hranice možného frézování je pro každého někde jinde. Pro definování pomyslné hranice mohou sloužit následující obecná charakteristika předností mikrofrézování před EDM:

- celková úspora výrobního času
- úspora nákladů na elektroerozi
- úspora nákladů na modelování elektrody
- úspora nákladů na výrobu elektrody
- obrábění na jedno upnutí (odpadají chyby přesnosti při přepínání obrobků)
- úspora pracnosti při ručním leštění (jiskřený povrch se hůře zalešťuje, hlavně hluboká žebra)
- obrábění velkých dílů (pracovní prostor frézky je většinou větší než vana hloubičky)
- problém s časovou koordinací operací frézování a erozí

2.1.3 Nedostatky mikrofrézování

- nelze frézovat ostré rohy
- hranice dosažitelné hloubky drážky je cca 20 – 25 D nástroje, ale snížení hloubky řezů a posuvů v závislosti na délce nástroje vede k několikanásobnému prodloužení času obrábění a tudíž je výroba elektrody a následné elektroerozivní obrábění výhodnější
- mikrofrézování klade extrémní nároky na HW PC (výpočty mikrodrah), CAM a strojové vybavení
- dalším nedostatkem je nemožnost vizuální a sluchové kontroly u mikrofréz do $\varnothing D=0,5\text{mm}$, proto by měl řídicí systém stroje být schopen průběžně tyto mikrofrézy laserem kontrolovat

2.2 Elektroerozivní obrábění

Elektrickou erozí nazýváme fyzikální jev, způsobující odebírání povrchových vrstev materiálů účinkem tepelného a tlakového působení. Charakteristický znak je, že úběr materiálu je vyvolán periodicky se opakujícími elektrickými výboji mezi nástrojem a obrobkem. Základem úběru materiálu je elektroeroze, kdy vlivem vysoké koncentrace energie (10^5 až $10^7 \text{ W}\cdot\text{mm}^{-2}$) materiál taje a odpařuje se.

Elektroerozivní obrábění je založeno na principu dvou elektrod (z vodivého materiálu), oddělených jiskrovou mezerou velikosti 0,01 až 0,5mm a ponořených v dielektrické kapalině, což je většinou kapalina s vysokým elektrickým odporem.

Celkový proces se skládá ze střídavých výbojů mezi anodou (nejčastěji ji tvoří nástrojová elektroda) a katodou (nejčastěji ji tvoří obrobek) po celé aktivní ploše nástroje (viz obr. 1).

Při každém výboji dojde k narušení materiálu a vytvoří se kráter. Z obráběného materiálu jsou tavením a odpařováním oddělovány velmi malé částice ve tvaru dutých kuliček a jsou odplavovány dielektrickou kapalinou.

Elektroerozi podléhají všechny elektricky vodivé materiály. Vhodným zapojením a volbou pracovních parametrů elektrického obvodu lze dosáhnout dvou druhů výbojů:

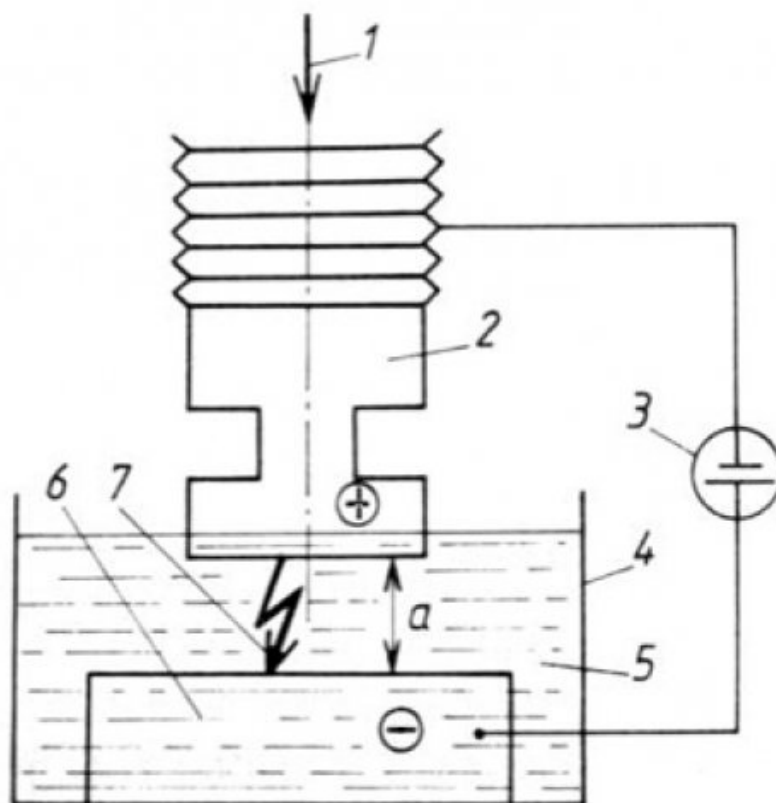
- oblouk, tj. stacionární výboj
- jiskra, tj. nestacionární výboj

Intenzita působení výboje závisí na:

- elektrických parametrech výboje
- vzdálenosti mezi elektrodami
- znečištění a vodivosti dielektrika

Elektroerozivní obrábění se používá pro:

- hloubení dutin zápuštěk a forem
- výrobu složitých tvarových povrchů
- řezání drátovou elektrodou
- leštění povrchů
- výrobu malých otvorů (mikroděrování)
- elektrokontaktní obrábění



Obr. 1 Princip zařízení pro elektroerozivní obrábění
 1 – směr posuvu nástrojové elektrody, 2 – nástrojová elektroda, 3 – generátor, 4 – pracovní vana, 5 – tekuté dielektrikum, 6 – obrobek, 7 – elektrický výboj

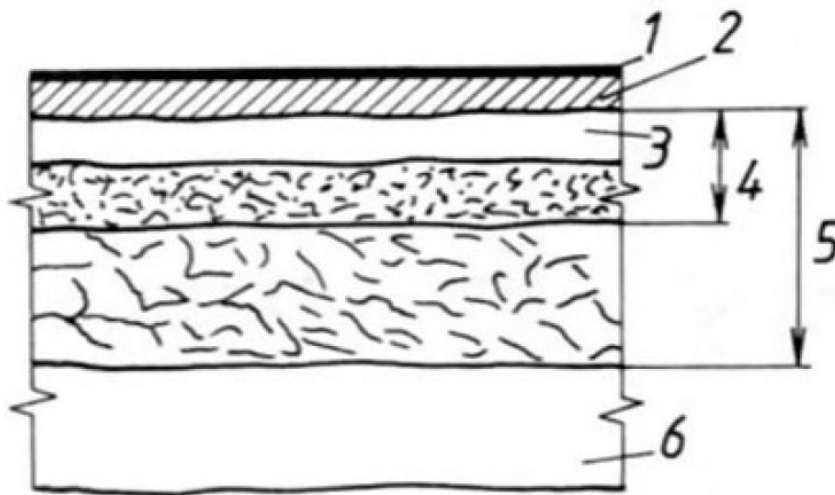
2.3 Základní metody elektroerozivního obrábění

2.3.1 Elektrojiskrové hloubení

Elektrojiskrové hloubení je základní metoda EDM. Používá se většinou na vnitřní plochy složitých tvarů, zápustek, střížných nástrojů, apod.

Kvalita povrchu opracované plochy je dána její drsností a také jejím stavem, tzn. složením (viz obr. 2). Dosahovaný úběr materiálu obrobku činí 8 až 10 mm³.min⁻¹. Výroba složitých tvarových povrchů se od hloubení dutin zápustek a

forem technologicky liší v provedení nástrojové elektrody a ve tvaru obráběného povrchu. Obráběný povrch je tvořen vnějším tvarem, drážkou nebo průchozí dírou. Obrábění složitých tvarových povrchů je možné při použití stroje s CNC řídicím systémem s více řízenými souřadnými osami; např. tři přímočaré posuvné pohyby ve směru tří vzájemně kolmých os a dva otáčivé pohyby, jejichž složením lze získat planetový pohyb.



Obr. 2. Složení povrchu opracované plochy

- 1–mikrovrstva tvořená chemickými sloučeninami vzniklými difuzí prvků dielektrika, 2–vrstva obsahující prvky materiálu nástrojové elektrody,
- 3–tzv. bílá vrstva (silně nauhličená znovu ztuhlá tavenina martenzitické struktury), 4–pásmo tepelného ovlivnění (zakalený a popuštěný základní materiál obrobku), 5–pásmo plastické deformace vyvolané rázy pulzů,
- 6–základní materiál obrobku

Výhody:

- možnost obrábění vodivých materiálů bez ohledu na jejich mechanické vlastnosti
- velký rozsah pracovních parametrů
- možnost výroby součástí složitých tvarů
- na obrobek nepůsobí žádné mechanické zatížení
- snižuje se pracnost při výrobě ploch složitých tvarů
- jednoduchá výroba nástrojových elektrod
- na hranách obrobku nejsou otřepy
- snadná automatizace výrobního procesu

Nevýhody:

- nutnost ponoření obrobku do kapaliny v průběhu obrábění
- nízká produktivita při obrábění měkkých materiálů
- jakost obrobeného povrchu při srovnání s mikrofrézováním

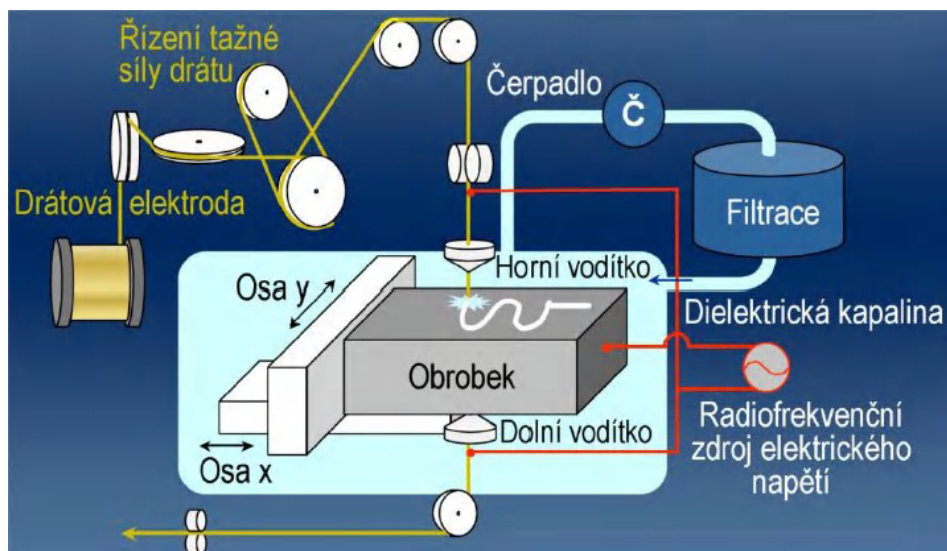
2.3.2 Elektrojiskrové řezání

Platí zde stejné fyzikální zákonitosti elektrické eroze jako u hloubení. Metoda umožňuje vyrábět plochy mající přímku jako tvořící křivku. Rozdíl oproti elektrojiskrovému hloubení je v nástrojových elektrodách a v systému podávání a vedení drátové elektrody. Tato metoda se vyznačuje minimální šířkou řezu a uplatňuje se při výrobě střížných a lisovacích nástrojů a při dělení velmi tvrdých a pevných materiálů.

Elektrodou je tenký drát, který se průběžně odvíjí z cívky a přes vodící zařízení prochází místem řezu. Drát je napínán konstantní silou a prostor mezi obrobkem a drátem je zaplněn dielektrickou kapalinou. Aby se předešlo jeho nadměrnému opotřebení, odvíjí se pomocí speciálního napínacího mechanismu (viz obr. 3).

Elektrody jsou vyráběny z mědi a jejich slitin, molybdenu, případně povlakované dráty obsahující vysoké procento zinku. Mezi nástrojovou elektrodou a obrobkem vznikají elektrické výboje. Systém umožňuje naklopení nástrojové elektrody, vzhledem ke svislé ose v rozsahu $\pm 30^\circ$.

Pro zajištění automatizovaného procesu obrábění jsou moderní stroje vybaveny automatickým vrtáním díry pro zavedení drátu, automatickým zavedením drátu na počátku práce do vyvrtané díry a adaptivním řízením.



Obr. 3 Schéma elektrojiskrového řezání

Přesnost vyřezaných tvarů je dána vlastnostmi stroje, přesností vedení a napnutí drátu, přesností a spolehlivostí CNC řídicího systému, stabilitou nastavených pracovních parametrů generátoru a kvalitou přívodu a čištění dielektrika.

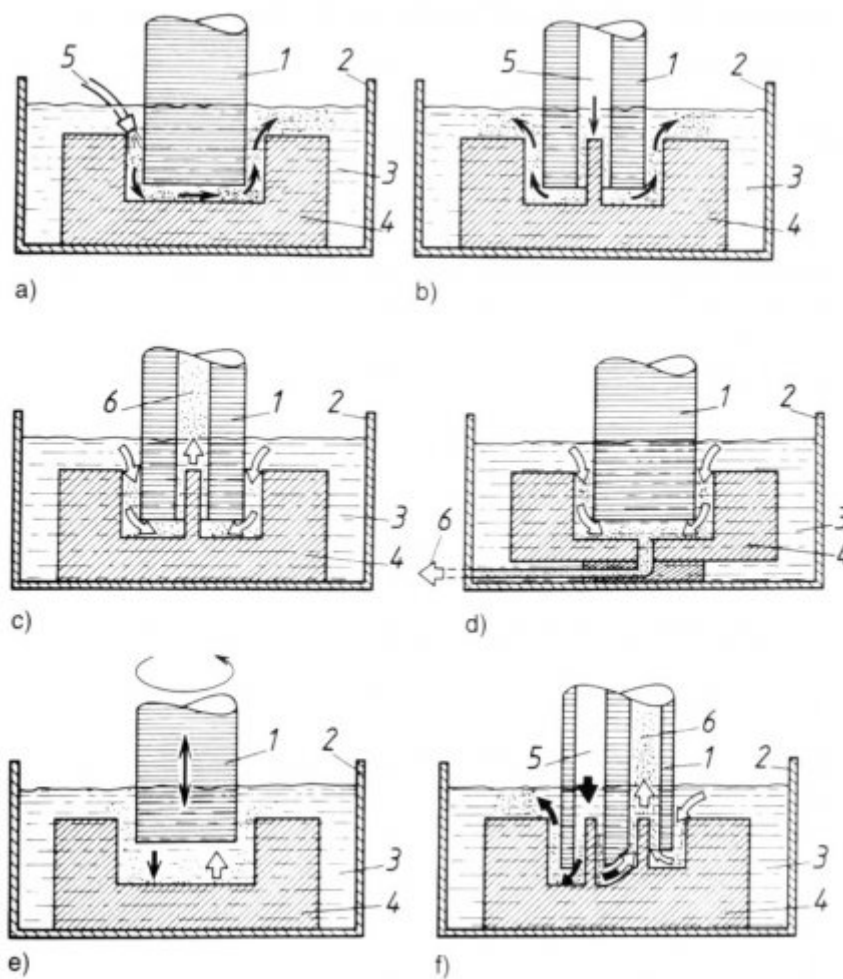
Je důležité, aby nástrojová elektroda vstupovala do místa řezání dokonale napnutá a vyrovnaná. Při řezání drátovou elektrodou lze dosáhnout maximálního úběru materiálu $35 \text{ až } 200 \text{ mm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$. Jakost obrobeného povrchu $R_a = 0,15 \text{ až } 0,3 \text{ } \mu\text{m}$. Maximální tloušťka řezaného materiálu je 350 mm.

2.3.3 Dielektrikum

Jako dielektrika se používají: strojní olej, transformátorový olej, petrolej, destilovaná voda, deionizovaná voda a speciální dielektrika, dodávaná výrobcí strojů.

Přívod dielektrika mezi obrobek a nástrojovou elektrodu, tzv. vyplachování, je možné realizovat několika způsoby (viz obr. 4):

- vnější vyplachování se nejčastěji používá při obrábění dutin o větší hloubce; je vhodné použít jej v kombinaci s pulzním vyplachováním (viz dále)
- vnitřní tlakové vyplachování, zde je dielektrikum přiváděno otvorem v nástrojové elektrodě přímo do pracovního prostoru, nevýhodou je menší tvarová přesnost boků vyráběné dutiny
- vyplachování odsáváním se realizuje odsáváním dielektrika dutinou v nástrojové elektrodě nebo v obrobku, vyznačuje se velmi dobrou tvarovou přesností obráběné dutiny
- pulzní vyplachování: je charakterizováno přerušením procesu elektroeroze na 0,15 až 10 s za současného oddálení nástrojové elektrody od obrobku o 0,02 až 10 mm, čímž se zvětší pracovní mezera mezi obrobkem a elektrodou, a dosáhne se tak jejího dokonalého vypláchnutí, tento způsob vyplachování je výhodný při výrobě hlubokých dutin, při použití tenkých elektrod nebo při obrábění načisto, moderní CNC řídicí systémy umožňují pulzní způsoby vyplachování naprogramovat
- kombinované vyplachování: jedná se o kombinaci vnitřního tlakového vyplachování a odsávání, čímž lze dosáhnout přesných tvarů obráběné dutiny; používá se zejména při hloubení tvarově složitých dutin



Obr. 4 Přívod dielektrika mezi obrobek a nástrojovou elektrodu–vyplachování
a)vnější, b)tlakové vnitřní, c), d)odsáváním, e)pulzní, f)kombinované
1–nástrojová elektroda, 2–pracovní vana, 3–dielektrikum, 4–obrobek,
5–přívod dielektrika, 6–odsávání dielektrika

2.3.4 Nástrojové elektrody

Jako nástroje se u elektroerozivního obrábění používají nástrojové elektrody, které jsou důležité z hlediska technického (určují přesnost rozměrů, jakost obrobené plochy a výkon obrábění) i ekonomického.

Nástrojová elektroda se navrhuje a konstruuje pro každý případ obrábění samostatně. Náklady na její zhotovení činí až 50 % z celkových výrobních

nákladů. Důležité je volit velmi pečlivě materiál, způsob výroby a také způsob upínání ve vřetenu podle použitého stroje. U strojů s automatickou výměnou elektrod také uložení a identifikaci elektrody v zásobníku nástrojů.

Materiály pro výrobu elektrod:

a)kovové:

- elektrolytická měď
- slitina wolframu a mědi
- slitina wolframu a stříbra
- ocel
- slitina chromu a mědi
- mosaz

b)nekovové:

- grafit
- kombinované: kompozice grafitu a mědi

Materiál nástrojové elektrody se volí podle materiálu obrobku, použitého stroje a relativního objemového opotřebení nástrojové elektrody. U moderních elektroerozivních strojů s automatickou výměnou nástrojových elektrod je výhodné rozdělit celkový tvar obráběné dutiny na jednodušší, snadněji a přesněji vyrobitelné tvary: kruhy, obdélníky, čtverce, trojúhelníky apod. Další možnost zjednodušení tvaru nástrojové elektrody poskytuje CNC řídicí systém, který umožňuje vhodnou kombinací tvaru a pohybu elektrody vyrobit tvarově velmi složité dutiny. [5]

Při stanovení rozměrů nástrojových elektrod se vychází:

- z požadovaného rozměru dutiny
- z velikosti pracovní mezery, která je funkcí pracovních parametrů generátoru (volí se z podkladů dodávaných výrobcem strojů)
- z požadované drsnosti obrobeného povrchu, která je funkcí pracovních parametrů generátoru a tvarové chyby vzniklé např. při hrubování (dané způsobem vyplachování, tvarem dutiny apod.)
- z tloušťky narušení obrobeného povrchu-má význam pouze při velkých energiích výbojů (obvykle dosahuje hodnot 0,005 až 0,01 mm)
- z minimální hodnoty, o kterou musí být nástroj menší, aby se dosáhlo požadovaného rozměru dutiny

3. Požadavky řídicího programu pro mikrofrézování

Velmi důležité u mikrofrézování je výběr vhodného řídicího programu. Ne každý Cam software je schopen vypočítat efektivně mikrodráhy. Také přesnost výpočtů je důležitá. U mikrofrézování při malých drahách se pohybuje přesnost výpočtu v 0,0005mm! Např. CAD/CAM systém CATIA V5 release 17 patří mezi nejlepší CAD/CAM systémy na světě, ale pro mikrofrézování CAM systém CATIA V5 release 17 není z hlediska efektivity a přesnosti výpočtů příliš vhodný.

Mezi doporučené komerční aplikační software pro mikrofrézování patří Cimatron E verze 8.5.

Cimatron E je CAD/CAM systém z produkce izraelské firmy Cimatron Ltd. Jedná se o modulární, parametrický a plně asociativní CAD/CAM systém - řešení pro konstrukční kanceláře, technologická oddělení a výrobní organizace. Stručně jej lze charakterizovat jako strojírensky orientovaný produkt pro 2D/3D projektování a konstruování s možností vytváření asociativní výkresové dokumentace a generování NC programů. Celosvětovou úspěšnost tohoto produktu dokumentuje jeho téměř 18 000 instalací u více než 8500 uživatelů na všech kontinentech. Ke světovým společnostem používajícím systém Cimatron E patří např. koncerny Black & Decker, The Benetton Sport Group, Daihatsu, Epson, Škoda LIAZ, Fiat Ferroviaria, Minardi, Motorola, Toshiba Chemical, PAL, a. s., Volkswagen, Yamaha, VDO-Siemens a další.

3.1 Uplatnění Cimatronu E

Jak již bylo zmíněno, Cimatron E je strojírensky orientovaný systém. Uplatnění nachází především ve dvou základních typech nasazení:

- Převzetí 3D modelu (např. od zákazníka či kooperující firmy) a zpracování NC technologie pro výrobu zadaného dílu. Toto je typická úloha např. z oblasti výroby forem, kdy zákazník přichází s přesně definovaným finálním výrobkem a úkolem uživatele Cimatronu je v krátkém čase vyrobit pomocí NC technologií kompletní formu pro výrobu tohoto výrobku.
- Zpracování ideového návrhu zadaného funkčního celku (výrobku, sestavy) do stadia úplného digitálního prototypu. Zde může být výstupem např. výkresová dokumentace nebo reálný model, vytvořený pomocí technologie Rapid-Prototyping. Digitální data mohou být také pochopitelně využita pro vygenerování NC technologií jako v předešlém případě.

3.2 Charakteristika Cimatronu E

Cimatron E je modulární systém. Uživatel pracuje v jedné ze dvou základních konfigurací:

1) Designer Solution:

Umožňuje kombinovat techniky povrchového a objemového modelování dílů, jako je tvorba křivek, ploch, zaoblení, přechody a průniky mezi plochami apod. Při tvorbě objemového objektu lze používat např. funkce vytažení, rotaci a vedení kontur. Na vytvořených objemových tělesech lze generovat úkosity, zaoblení, sražení, otvory a jiné operace.

Objekty, vzniklé oběma přístupy plošného a objemového modelování, lze kombinovat a vzájemně převádět. V Designer Solution jsou výkonné nástroje pro práci v sestavách, tvorbu výkresové dokumentace a načítání dat z některých standardních rozhraní. Toto řešení také obsahuje modul pro automatizovaný návrh elektrod a modul Mold-Design pro generování sestav vstřikovacích forem.

[7]

2)NC Solution:

Je určen pro vytváření CAM dat (možnosti 2,5osého frézování, definice řezného nástroje a jeho dráhy, 3osá simulace a verifikace aj.). Jsou zde i CAD funkce plně hybridního modeláře dílů s možností generování technologických a výrobních výkresů. Na výše uvedené navazuje řada volitelných modulů, umožňujících uživatelům přesně reagovat na jejich potřeby podle charakteru úloh, které hodlají pomocí Cimatronu E řešit.

Za všechny uvedme:

- čtyř a pětiosé frézování
- Mold-Design options
- řezání drátem ve 2 - 4 osách
- Quick Compare pro porovnávání digitálních tvarů součástí

Pro soustružení a frézování je k dispozici řada operací pro hrubování, polohrubování, dokončování, detekci zbytkového materiálu apod. Ke kontrole generovaných drah nástrojů jsou k dispozici prostředky pro simulaci řezného procesu a prostředky pro ověřování výsledného tvaru v jednotlivých etapách obrábění.

Pro přizpůsobení výsledného NC kódu příslušnému řídicímu systému NC stroje používá Cimatron E programovatelný postprocesing. Součástí nabídky doplňků je také generátor NC postprocesorů.

3.3 Cimatron E - praxe

Mnoho procesů z oblasti tvorby forem a nástrojů začíná importem dat z jiných CAD systémů. Cimatron E zde nabízí širokou paletu převodníků dat z/do nejužívanějších formátů (DXF, DWG, STEP...) a CAD/CAM systémů (např.

CATIA, Pro/E, NX - dříve Unigraphics aj.), včetně možností jejich úprav a doladění.

Po úspěšném načtení dat vygeneruje uživatel pomocí výkonného hybridního modeláře všechny nutné operace, vedoucí k vytvoření formy a její dutiny. V této fázi je možno urychlit proces použitím standardních normalizovaných dílů, např. z knihovny HASCO.

CAM možnosti Cimatronu E obsahují řadu dříve popsaných funkcí pro NC obrábění. Počínaje 2,5osým vrtáním a frézováním až po 5osou simulaci obráběcího procesu a finální dokončení povrchu je Cimatron E ideálním řešením pro firmy, zabývající se výrobou forem, nástrojů a víceosým obráběním.

Velké množství nabízených postprocesorů umožňuje snadné a rychlé převedení vygenerovaných dat z technologického pracoviště na řídicí systém obráběcího stroje.

Výrazné zkrácení času díky automatizovanému procesu, výkonným funkcím pro tvorbu náradí a elektrod vč. průvodní výkresové dokumentace a managementu změnového řízení staví Cimatron E do čela na trhu nabízených CAD/CAM řešení.

3.4 Zhodnocení řídicího programu Cimatron E v. 8.5

Shrneme-li výše uvedená fakta a praktické poznatky z používání Cimatronu E, lze tento CAD/CAM systém doporučit všude tam, kde je kladen důraz na precizní NC technologie, zvládnutí snadné manipulace se složitými plochami či 3D objekty a vysokými nároky na přesnost a kvalitu výstupů z CAD/CAM systému.

4. Návrh vhodného stroje

4.1 Základní podmínka mikrofrézování

Produktivita mikrofrézování je závislá především na otáčkách, např. pro frézu s průměrem 0,2mm a délkou 0,5mm pro obrábění oceli s tvrdostí 55 – 70 HRC doporučuje firma HITACHI otáčky $35\,000\text{min}^{-1}$. U neželezných materiálů se doporučené otáčky blíží hodnotám v rozsahu $50\,000 - 60\,000\text{min}^{-1}$. Logicky pak dospíváme k nutnosti investovat do kvalitního obráběcího HSC stroje nebo kvalitního zrychlovacího elektrovřetená.

Mikrofrézování je možné realizovat pouze na strojích, které jsou z konstrukčního hlediska vybavené vřeteny s vysokými otáčkami nebo vybaveny kvalitní zrychlovací hlavou. Tato technologie je v praxi využívána při výrobních operacích hrubování, a kde je to technicky možné, tak i dokončování. Při dokončovacích operacích dochází k přetížení času opracování, ale značným přínosem je drsnost povrchu. Drsnost povrchu často bývá až $R_a = 0,2\,\mu\text{m}$. Výhodou je, že dále už není nutné realizovat dokončovací operace jako jsou leštění a broušení. Další přínosem je, že touto technologií obrábíme tvarově složité součástky se snížením výrobních nákladů. [1]

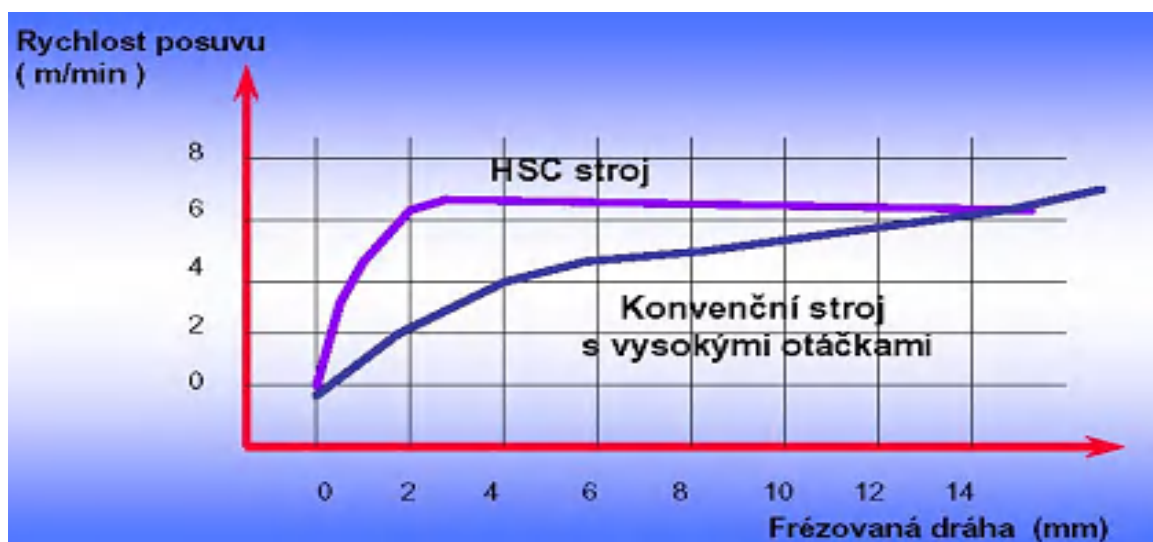
4.2 HSC obráběcí stroje - charakteristika

Aspekty současného vývoje obráběcí techniky znamenají zrod nové generace HSC obráběcích strojů, které mají v porovnání s konvenčními stroji značně odlišné priority konstrukčního řešení. Pracují převážně v podmínkách vícesměnného nebo nepřetržitého provozu.

HSC stroje mají nejen vysoké otáčky vřeten ($n=10000-80000\text{min}^{-1}$) a vysoké hodnoty pracovních posuvů ($v_f=7-40\text{m/min}$), ale i velmi krátké vedlejší časy

dosahované vysokými rychloposuvy (viz obr. 5), krátkými časy pro výměnu nástrojů i rychlou výměnu obrobků. Řezná rychlost (v_c) je 5-10 x vyšší, než u konvenčního obrábění. Objem odebrané třísky u HVC dosahuje až 1000 cm³/min.

Je nutné překonat mnoho překážek, mezi které patří zejména až nepřiměřené ceny nových nástrojů a informačních technologií, přímých pohonů, vysokootáčkových vřeten a jiných konstrukčních uzlů. Pouze optimalizace a vyváženost konstrukce těchto strojů při modulárním, stavebnicovém řešení jejich uzlů, podskupin i systémových seskupení může zajistit nejvyšší užitnou hodnotu, kvalitu a prodejní úspěch v podmínkách silné konkurence ostatních výrobců HSC strojů.



Obr. 5 Porovnání stroje konvenčního a HSC

S tímto také úzce souvisí výhodnost sdružování výrobců HSC obráběcích strojů a vytváření společných výzkumných a vývojových center, které odevzdávají získané poznatky spolupracujícím a zainteresovaným, přímo si nekonkurujícím podnikům.

Sdružením výzkumného a vývojového úsilí i prostředků je možné zabránit mnohým mylným rozhodnutím a spoluvytvářet spolehlivé informace pro rozhodnutí vrcholového managementu. [3]

4.3 Výhody a nevýhody HSC

Výhody HSC:

- O 30% větší množství odebraného materiálu v porovnání s konvenčním obráběním
- Vyšší otáčky vřetena, z toho vyplývá vyšší rychlost posuvu a snížení strojních časů
- Zvýšení podílu tepla odváděného třískou
- Snížení tepla odváděného obrobkem (nejsou tepelné deformace)
- Zvýšení rozměrové přesnosti obrobku
- Zlepšení integrity obrobeného povrchu, tzn. úplné odstranění dokončovacích operací
- Malé hloubky řezu a_p , čímž se zvýší trvanlivost vřetena a vedení
- Drsnost nižší než $R_a \sim 0,2\mu m$
- Možnost obrábění velmi tenkých obrobků

Nevýhody HSC:

- Nákladné strojní vybavení
- Speciální (drahé) nástroje a řezné materiály
- Speciální upínání řezných nástrojů a obrobků
- Využití poměrně drahého výrobního zařízení a nářadí

5. Diskuse experimentálních prací

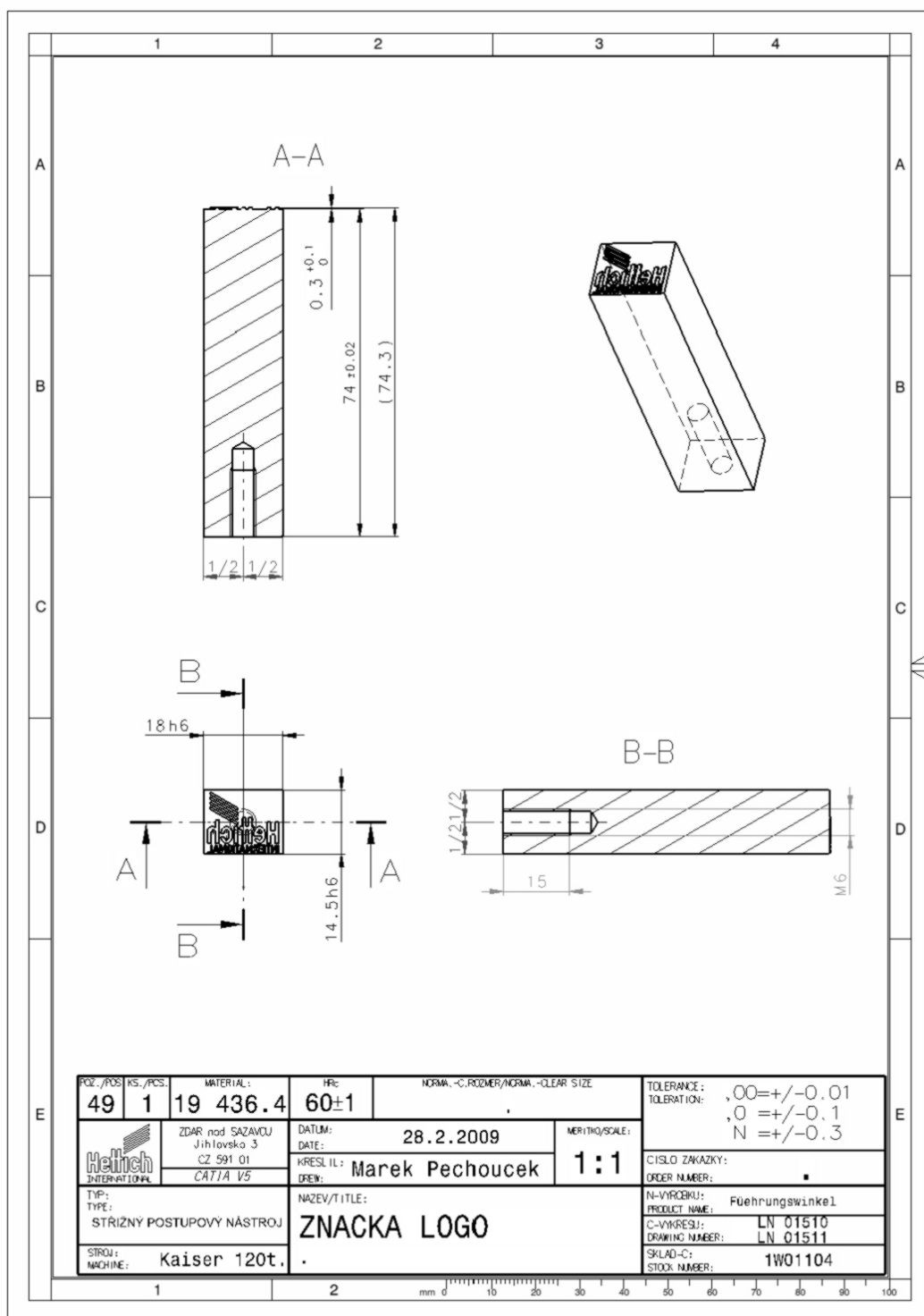
5.1 Experimentální zkouška obou technologií

Zkouška byla provedena při výrobě razníku „Logo“ fy. Hettich (viz obr. 7, originál příloha č. 4), vyrobeného z materiálu 19436.4 – ekvivalent dle EN ISO 4957 – 1.2080 (viz obr. 6), kaleného na tvrdost 60HRC ± 1 . K programování byl použit software CIMATRON ver.8.5 .

Informativní změny tvrdosti při popouštění											
Kalení: 970 °C / olej											
popouštěcí teplota [°C]	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
tvrdost HRC	64	64	63,5	62	61	59	58	56	54	52	47
Teplotné zpracování											
Kalení	960–980 °C				ochlazovat v oleji						
Popouštění	170–190 °C										
Použití											
Vysoce výkonné střížné a lisovací nástroje, lisovníky, nože strojních nůžek, plochá kovadla, hlavičnický, protahovací trny, frézy na dřevo, tažné matrice a trny ad.											
Porovnání se zahraničními materiály											
EURO		Česká republika				Německo					
X210Cr12	EN 96	19 436	ČSN 41 9436			X210Cr12	DIN 17350				
Francie		Velká Británie				Itálie					
X200Cr12	NF A35-590	BD3	BS 4659			X205Cr12 KU	UNI 2955				
ISO		USA				Rusko					
X210Cr12	ISO 4957	Type D3	ASTM A681			Ch12	GOST 5950				
Japonsko		Čína				–					
–	–	Cr12	GB 1299			–	–				

1.2080		Legovaná nástrojová ocel pro práci za studena				X210Cr12 Značka	
Číselné označení							
Chemické složení [hm. %]							
C	Si	Mn	P	S	Cr	W	
1,90–2,20	0,10–0,60	0,20–0,60	max 0,030	max 0,030	11,0–13,0	0,60–0,80	
Normy EN							
[1] ISO 4957							
Mechanické vlastnosti							
Polotovár	–						
Stav	žíhaný na měkko (+ A)		žíhaný na měkko a tažený za studena (+ A + C)			kalený a popuštěný	
Mez kluzu R [MPa]	–		–			–	
Mez pevnosti R _m [MPa]	–		–			–	
Tažnost A [%]	–		–			–	
Kontrakce Z [%]	–		–			–	
Nárazová práce KV [J]	–		–			–	
Tvrdost HB max	255		275			–	
Tvrdost HRC min	–		–			62	

Obr. 6 Materiálový list materiálu razníku



Obr. 7 Výkres razníku

Experimentální zkouška byla provedena těmito technologiemi:

1. Elektrojiskrové hloubení - EDM
2. Mikrofrézování

5.2 Technologie – elektrojiskrové hloubení

Počet vyráběných dílů: 10ks

Potřeba elektrod na výrobu 10ks dílů: 3ks

Výroba: 1ks elektrody na stroji RÖDERS = 72 min
 3ks elektrody = 216 min = 3,6 hod

Použité nástroje na výrobu 3ks elektrod:

<u>ø nástroje (mm)</u>	<u>počet (ks)</u>	<u>cena (Kč)</u>
ø 16	1	3500
ø 0,5	1	1500
ø 0,3	1	1500
ø 0,2	1	1500
	4	8000Kč

Materiál elektrod:	polotovár	upínací mince
elektrolytická měď	1ks = 110Kč	1ks = 300Kč
elektrolytická měď	3ks = 330Kč	3ks = 900Kč
		1230Kč

Doba trvání výroby 1ks dílu „Logo“ = 10 min
 Doba trvání výroby 10ks dílu „Logo“ = 100 min

Doba namodelování elektrody = 30 min
 Doba naprogramování elektrody = 60 min

Použitý stroj: CHARMILLES ROBOFORM 35P

Sazba hloubení: 400Kč/hod
 Sazba mikrofrézování 500Kč/hod

Sazba konstruktéra a programátora:

700Kč/hod

Tvorba elektrody + programování:

90min =1,5 hod

Výroba elektrod:

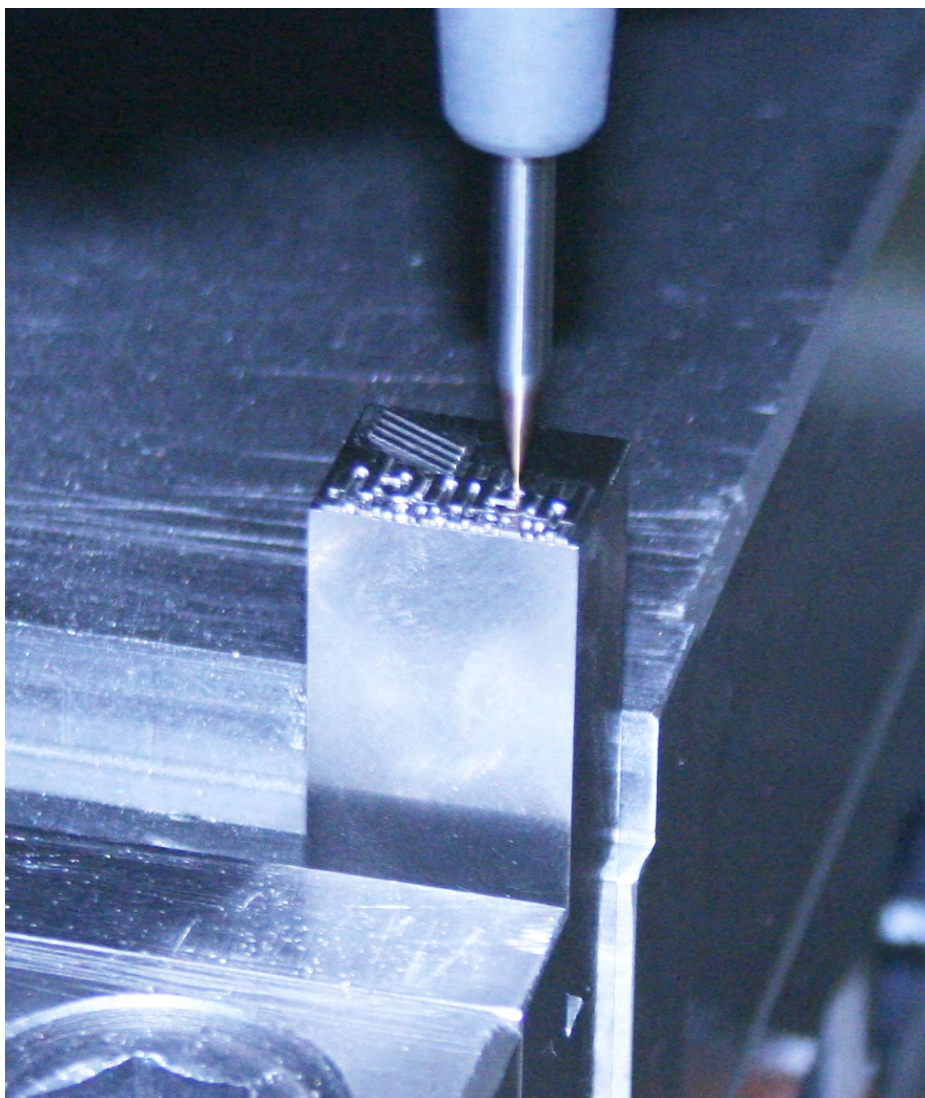
216min =3,6 hod

Výroba 10 dílů:

100min =1,7 hod

406min =6,8 hod

5.3 Technologie – mikrofrézování



Obr. 8 Mikrofrézování loga

Počet vyráběných dílů: 10ks

Použité nástroje od firmy HITACHI (příloha č. 3):

<u>ø nástroje (mm)</u>	<u>počet (ks)</u>	<u>cena (Kč)</u>
ø 2 r0.5	1	2600
ø 1 r0.2	1	2150
ø 0,5 r0.1	2	4150
ø 0,3 R0.15	3	12050
ø 0,2 R0.1	3	12750
ø 0,3 r0.1	2	8600
<u>ø 0,2 r0.05</u>	<u>2</u>	<u>8600</u>
	14	50900Kč

Použitý stroj: RÖDERS 800 RP

Hodinová sazba RÖDERS 800 RP: 500Kč/hod

Doba trvání výroby 1ks dílu „Logo“= 600 min

Doba trvání výroby 10ks dílu „Logo“= 6000 min=100 hod

Doba naprogramování razníku= 20 hod

Sazba programátora: 700Kč/hod

5.4 Technicko – ekonomické zhodnocení

Firma JUNG udává ve svých firemních materiálech životnost obráběných dílů pomocí EDM o 50% nižší, jak u dílu obráběného technologií třískového obrábění.

Cena vyráběného dílu pomocí elektrojiskrového hloubení je z důvodu nižší životnosti násobena koeficientem, $k=2$.

5.4.1 Technicko – ekonomické zhodnocení - elektrojiskrové hloubení

1)Výroba elektrod:	3,6x500	=	1800Kč
2)Nástroje (frézy):		=	8000Kč
3)Programování elektrody:	1x700	=	700Kč
4)Konstrukce elektrody:	0,5x700	=	350Kč
5)Materiál elektrod:		=	1230Kč
6)Hloubení:	1,7x400	=	680Kč
			12760Kč
12760Kčxk	=12760x2	=	25520Kč

5.4.2 Technicko – ekonomické zhodnocení - mikrofrézování

1)Nástroje (frézy):		=	50900Kč
2)Frézování:	100x500	=	50000Kč
3)Programování razníku:	20x700	=	14000Kč
			114900Kč

Zkouška mikrofrézování do materiálu 19436.4 (1.2080), zakaleného na tvrdost 60HRC \pm 1 nenaplnila očekávání, přestože celková cena hloubení byla vynásobena koeficientem, který určuje životnost razníku (dle firmy JUNG).

5.5 Závěrečné zhodnocení

Současný technický pokrok vyžaduje vyvinutí nových technologií výroby, které přinášejí jednak zvyšování užitečných vlastností materiálů, ale také optimalizaci a zvýšení produktivity vlastní výroby.

V úvodu této bakalářské práce jsem se pokusil charakterizovat možný budoucí vývoj technologie mikrofrézování z hlediska zvyšování produktivity.

Z dosažených výsledků technicko-ekonomické analýzy vyplývá, že nejvíce časově nákladné jsou faktory, které nahrazují konstrukci, materiál elektrod a EDM.

Právě tyto faktory, pořizovací cena, počet nástrojů do 60 HRC, obráběcí čas a programování razníku tvoří 4,5x vyšší cenu pro výrobu 10ti kusů tohoto typu razníku.

Z dosažených poznatků je zřejmé, že při obrábění „Loga“ firmy HETTICH byl čas a náklady mikrofrézování větší, a tudíž se úspora ve frézování tohoto dílce neprokázala. Přesto je frézování, respektive mikrofrézování, správným krokem ke snížení výrobních nákladů ve strojírenství. Neznamená to však, že mikrofrézování 100% nahradí elektroerozivní obrábění, zvláště při složitých, členitých dílech, jejichž frézování je nákladné a technicky nemožné.

Rozhodující faktor u frézování, zvláště u mikrofrézování, je optimální komplexní rozvaha řešení z hlediska výrobních nákladů, flexibility výroby celého procesu systému obrábění forem a lisovacích nástrojů, včetně konstrukce forem a technologie přípravy výroby.

Mikrofrézování v kaleném materiálu představuje inovační výrobní postup, ve kterém je ukryt nesmírný racionalizační potenciál. Z těchto predikcí je možno vyvodit předpoklad, že technologie mikrofrézování je možno v budoucnu ve větší míře úspěšně využít při výrobě lisovacích nástrojů a forem.

Seznam použité literatury

[1] SKOPEČEK, Tomáš; VODIČKA, Jaroslav; PAHL, Jörg-Peter; HERKNER, Volkmar. [I]Základy vysokorychlostního obrábění - HSC.[/I] Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, ISŠT-COP Most, TU Dresden, 2005. 134 s. ISBN 80–7043–344–2.

[2] NESLUŠAN, Miroslav; TUREK, Stanislav; BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; TABAČEK, Marian. [I]Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní.[/I] Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978–80–8070–711–8.

[3] VASILKO, Karol; HAVRILA, Michal; MARCINCIN-NOVÁK, Jozef; MÁDL, Jan; ZAJAC, Jozef. [I]Top trendy v obrábaní, III. část – Technologie obrábění.[/I] Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80–968954–2–7.

[4]MM Průmyslové spektrum, MM publishing, s.r.o., Přípotoční 1519/10a, 101 00 Praha 10, Vyšlo v MM 2007 / 6, 31. října 2007 v rubrice Trendy / CAD/CAM/CAE, strana 54

[5]MM Průmyslové spektrum, MM publishing, s.r.o., Přípotoční 1519/10a, 101 00 Praha 10, Vyšlo v MM 2007 / 7, Říjen 2007 v rubrice Inovace / Nekonvenční Technologie, strana 60

[6] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. [I]Top trendy v obrábaní, II. část – Nástrojové materiály.[/I] Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80–968954–2–7.

[7]MM Průmyslové spektrum, MM publishing, s.r.o., Přípotoční 1519/10a, 101 00 Praha 10, Vyšlo v MM 2005 / 1, Leden 2005 v rubrice Technologie zpracování pryže / plastů, strana 45

Seznam příloh

Příloha 1 – Použité nástroje a řezné podmínky při mikrofrézování

NC Setup Sheet

Program **RAZNIK-HETTICH**

Program

Date: 2/3/2009

Time: 15:52

User name: mp

Cimatron file raznik02

Path: Z:\TGS

Operations

Procedure				Tool							
No.	Name	R-Parallel_21		Name	No.	Diameter	Clear length	Cut length	Corner rad.	Con/Tool ang.	
1	Comment	Hrub D2		D2.0R0.5	T1	2.	10.	2.	0.5	0.0 / 0.0	
	Feed time	Air time	Total time	Auto-Drill						Spin	Feed
	00:01:04	00:00:13	00:01:18							8000	1020.
No.	Name	R-Spiral_22		Name	No.	Diameter	Clear length	Cut length	Corner rad.	Con/Tool ang.	
2	Comment	Hrub D1		D1.0R0.2	T2	1.	10.	2.	0.2	0.0 / 0.0	
	Feed time	Air time	Total time	Auto-Drill						Spin	Feed
	00:01:33	00:00:11	00:01:44							16000	405.
No.	Name	R-Spiral_23		Name	No.	Diameter	Clear length	Cut length	Corner rad.	Con/Tool ang.	
3	Comment	Hrub D0.5		D0.5R0.1	T3	0.5	10.	2.	0.1	0.0 / 0.0	
	Feed time	Air time	Total time	Auto-Drill						Spin	Feed
	00:08:41	00:00:13	00:08:54							28000	390.
No.	Name	R-Spiral_24		Name	No.	Diameter	Clear length	Cut length	Corner rad.	Con/Tool ang.	
4	Comment	Hrub D0.3		D0.3	T6	0.3	10.	2.	0.15	0.0 / 0.0	
	Feed time	Air time	Total time	Auto-Drill						Spin	Feed
	02:06:37	00:00:36	02:07:12							34000	230.

5	No.	Name	R-Spiral_25		Name	No.	Diameter	Clear length	Cut length	Corner rad.	Con/Tool ang.
	Comment	Hrub D0.2		D0.2	T7	0.2	10.	2.	0.1	0.0 / 0.0	
	Feed time	Air time	Total time	Auto-Drill Comment							Spin Feed
	02:07:26	00:00:28	02:07:53								34000 170.
6	No.	Name	F-Slope_26		Name	No.	Diameter	Clear length	Cut length	Corner rad.	Con/Tool ang.
	Comment	Vert.D0.3		D0.3R0.1	T4	0.3	10.	2.	0.1	0.0 / 0.0	
	Feed time	Air time	Total time	Auto-Drill Comment							Spin Feed
	00:37:40	00:00:12	00:37:52								36000 210.
7	No.	Name	F-Hor_27		Name	No.	Diameter	Clear length	Cut length	Corner rad.	Con/Tool ang.
	Comment	Hor.D1.0		D1.0R0.2	T2	1.	10.	2.	0.2	0.0 / 0.0	
	Feed time	Air time	Total time	Auto-Drill Comment							Spin Feed
	00:00:39	00:00:10	00:00:50								16000 405.
8	No.	Name	F-Hor_28		Name	No.	Diameter	Clear length	Cut length	Corner rad.	Con/Tool ang.
	Comment	D0.3		D0.3R0.1	T4	0.3	10.	2.	0.1	0.0 / 0.0	
	Feed time	Air time	Total time	Auto-Drill Comment							Spin Feed
	00:06:23	00:00:11	00:06:33								36000 210.
9	No.	Name	RM-Cleanup_29		Name	No.	Diameter	Clear length	Cut length	Corner rad.	Con/Tool ang.
	Comment	Zbytky D0.2		D0.2R0.05	T5	0.2	10.	2.	0.05	0.0 / 0.0	
	Feed time	Air time	Total time	Auto-Drill Comment							Spin Feed
	00:18:15	00:00:12	00:18:27								36000 140.

Motions Limits (Min, Max):

X	-1.153	18.56
Y	-0.671	15.999
Z	0.0	30.
A	0.0	0.0
B	0.0	0.0

Statistics:

No. of Operations	9
No. of Tools	7
Total Air Time	00:02:25 min.
Total Feed Time	05:28:17 min.
Total Time	05:30:42 min.

* In DEMO report the values of A & B are according to a head-head machine.

Report Ver: 8.500.2

Poznámka:

Softwarem vypočítaný celkový čas obrábění je 5hod 31min, ale při praktické zkoušce výroba 1 ks razníku trvala 8hod 57min, kdy v průběhu obrábění nástroje č.5 došlo k jeho zlomení. Po tomto zlomení se v obrábění nepokračovalo z důvodu neekonomičnosti mikrofrézování tohoto razníku. V technicko-ekonomickém zhodnocení je uvedena časová hodnota, jako součet obráběného času s časy dalších nástrojů, které byly vypočteny softwarem:

$$8,95 + 0,63 + 0,43 = 10\text{hod}$$

Příloha 2 - Řídící program pro HSC stroj RÖDERS 800 RP

```
// G:\CIMATRON
```

```
// 5693_CRA
```

```
MACOOR -all
```

```
// LOADZERO="NULOVY_BOD" -h=0
```

```
MOVZERO = x = 0
```

```
MOVZERO = y = 0
```

```
MOVZERO = z = 0
```

```
TURNZ = 0
```

```
T1 // -
```

```
// HGOF-4020-05TH_D2_R0.5_L6_V20
```

```
M3 S8000 WAIT=60
```

```
TLC -r=0.45 -clean
```

```
TDM=0.7
```

```
M8
```

```
Checkdiam=1.96 -Tol=0.1
```

```
RMAX=3 RADMAX=3000 TOL=0.005 SM=0
```



```

// ap=0.05 ae=1 // offset: ap=0.02 ae=0.02
XCALL 01.TAP -w
M9
TLM -clean -broken=0.5
M5

T2 // -
// EPDR-2010-2-02_D1_R0.2_L2_V20

M3 S16000 WAIT=60
TLC -r=0.26 -clean
TDM=0.3
M8
Checkdiam=0.96 -Tol=0.1

RMAX=3 RADMAX=3000 TOL=0.005 SM=0
// ap=0.05 ae=0.5 // offset: ap=0.02 ae=0.02
XCALL 02.TAP -w
M9
TLM -clean -broken=0.5
M5

T3 // -
// EPDR-2005-1-01_D0.5_R0.1_L1_V20

M3 S28000 WAIT=60
TLC -r=0.12 -clean
TDM=0.2
M8
Checkdiam=0.46 -Tol=0.1

RMAX=1 RADMAX=3000 TOL=0.005 SM=0
// ap=0.02 ae=0.25 // offset: ap=0.02 ae=0.02
XCALL 03.TAP -w

```

M9

TLM -clean -broken=0.5

M5

T4 // -

// EPSB-2003-0.9N_D0.3_R0.15_L1_V20

M3 S36000 WAIT=60

TLC -r=0 -clean

TDM=0.18

M8

Checkdiam=0.26 -Tol=0.1

RMAX=1 RADMAX=1000 TOL=0.005 SM=0

// ap=0.01 ae=0.15 // offset: ap=0.02 ae=0.02

XCALL 04.TAP -w

M9

TLM -clean -broken=0.5

M5

T5 // -

// EPSB-2002-0.6N_D0.2_R0.1_L0.5_V20

M3 S36000 WAIT=60

TLC -r=0 -clean

TDM=0.12

M8

Checkdiam=0.14 -Tol=0.1

RMAX=1 RADMAX=3000 TOL=0.005 SM=0

// ap=0.008 ae=0.1 // offset: ap=0.02 ae=0.02

XCALL 05.TAP -w

M9

TLM -clean -broken=0.5

M5

```

T6 // -
    // EPDR-2003-1-005_D0.3_R0.1_L1_V20

M3 S36000 WAIT=60
TLC -r=0.02 -clean
TDM=0.15
M8
Checkdiam=0.26 -Tol=0.1

RMAX=1 RADMAX=1000 TOL=0.005 SM=0
// ap=0.01 ae=0.02 // offset: ap=0.00 ae=0.00
XCALL 06.TAP -w
M9
TLM -clean -broken=0.5
M5

T2 // -
    // EPDR-2010-2-02_D1_R0.2_L2_V20

M3 S16000 WAIT=60
TLC -r=0.26 -clean
TDM=0.3
M8
Checkdiam=0.96 -Tol=0.1

RMAX=1 RADMAX=3000 TOL=0.005 SM=0
// ap=0.02 ae=0.4 // offset: ap=0.00 ae=0.00
XCALL 07.TAP -w
M9
TLM -clean -broken=0.5
M5

```

```

T6 //  -
    // EPDR-2003-1-005_D0.3_R0.1_L1_V20

M3 S36000 WAIT=60
TLC -r=0.02 -clean
TDM=0.15
M8
Checkdiam=0.26 -Tol=0.1

RMAX=1 RADMAX=1000 TOL=0.005 SM=0
// ap=0.01 ae=0.02 // offset: ap=0.00 ae=0.00
XCALL 08.TAP -w
M9
TLM -clean -broken=0.5
M5

T7 //  -
    // EPDR-2002-05-005_D0.2_R0.05_L0.5_V20
M3 S36000 WAIT=60
TLC -r=0.02 -clean
TDM=0.1
M8
Checkdiam=0.14 -Tol=0.1

RMAX=1 RADMAX=3000 TOL=0.005 SM=0
// ap=0.008 ae=0.1 // offset: ap=0.00 ae=0.00
XCALL 09.TAP -w
M9
TLM -clean -broken=0.5
M5

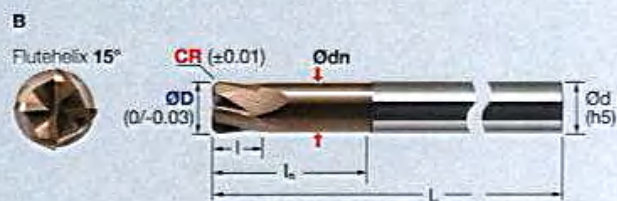
// NPT

M30

```

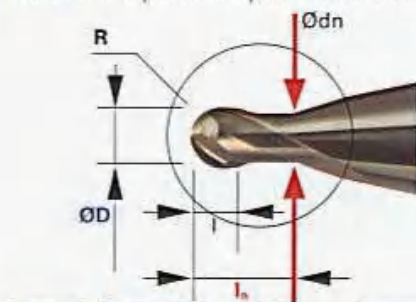
Příloha 3 - Použité nástroje

HGOF-4 | GO-Line High Feed

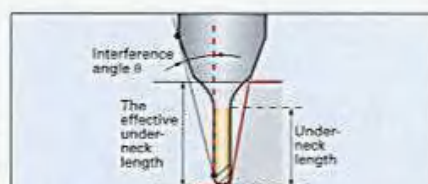


ID Code	Item Code	Flutes	ØD	CR	I	L	Ødn	L	Ød	Type
EL049	HGOF-4020-05TH	4	2	0.5	1	6	1.9	60	6	A
EL050	HGOF-4030-08TH		3	0.8	1.5	9	2.9			
EL051	HGOF-4040-10TH		4	1	2	12	3.8			
EL052	HGOF-4050-12TH		5	1.2	2.5	15	4.7			
EL053	HGOF-4060-15TH		6	1.5	3	18	5.7			
EL054	HGOF-4080-20TH		8	2	4	24	7.6	75	8	B
EL055	HGOF-4100-20TH	10	5		5	30	9.5	80	10	
EL056	HGOF-4120-20TH	12	6		6	36	11.5	100	12	

EPSB | Epoch Super Hard Ball



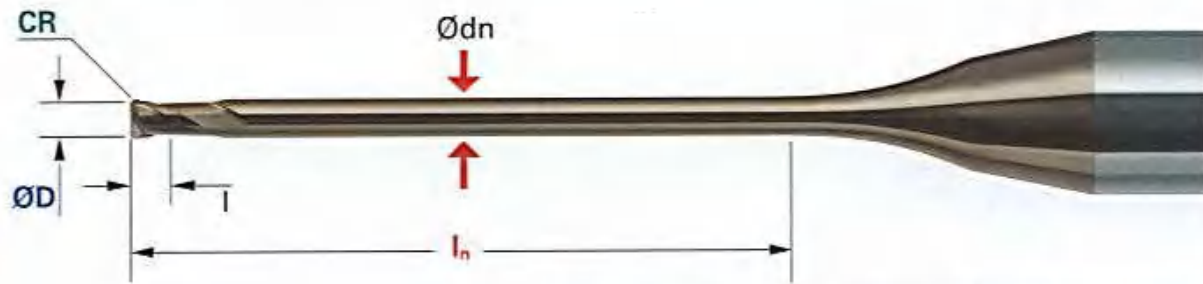
R	-0.007/+0.003
Ød	h4



ID Code	Item Code	Stock	Z	R	ØD	L	I	dn	L	Ød	Neck R
MM001	EPSB-2001N	■	2	0.05	0.1	-	0.08	-	45	4	1
MM002	EPSB-2002N	■	2	0.1	0.2	-	0.15	-	45	4	1
MM003	EPSB-2003N	■	2	0.15	0.3	-	0.25	-	45	4	2
MM004	EPSB-2004N	■	2	0.2	0.4	-	0.3	-	45	4	2
MM005	EPSB-2005N	■	2	0.25	0.5	-	0.35	-	45	4	2
MM006	EPSB-2006N	■	2	0.3	0.6	-	0.4	-	45	4	4
MM007	EPSB-2008N	■	2	0.4	0.8	-	0.5	-	45	4	4
MM008	EPSB-2010N	■	2	0.5	1	1.5	0.8	0.96	45	6	4
MM009	EPSB-2012N	■	2	0.6	1.2	1.8	1.1	1.15	45	6	4
MM010	EPSB-2015N	■	2	0.75	1.5	2.25	1.35	1.44	45	6	4
MM011	EPSB-2020N	■	2	1	2	3	1.7	1.92	45	6	4

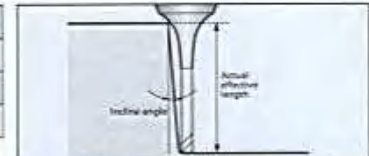
The effective under-neck length for the various draft angles				
0.5°	1°	2°	3°	Interference angle Ø
		0.08		11.87
		0.15		11.74
		0.25		11.61
		0.3		11.47
		0.35		11.33
		0.4		11.18
		0.5		10.88
2.0146	2.1201	2.3137	2.4926	11.00
2.3674	2.478	2.68	2.8656	10.78
2.8713	2.991	3.2074	3.4042	10.43
3.711	3.8427	4.0784	4.2902	9.78

EPDR | Epoch Deep Radius End Mill



Carbide	TH45+	Rake Angle
Micro Grain	Nano-PVD Coating	Positive

Helix Angle	20°
CR	± 0.01
D	0/-0.015
d	h5



Size											Actual Effective Length in Incline angles			
ID Code	Item Code	Stock	Z	ØD	L	CR	I	Ødn	L	Ød	0.5°	1°	2°	3°
EP 393	EPDR-2002-05	■	2	0.2	0.5	0.05	0.15	0.17	50	4	0.925	1.002	1.152	1.298
EP 394	EPDR-2002-1	■	2	0.2	1	0.05	0.15	0.17	50	4	1.634	1.796	2.097	2.378
EP 395	EPDR-2003-1	■	2	0.3	1	0.05	0.25	0.27	50	4	1.467	1.575	1.771	1.950
EP 396	EPDR-2003-2	■	2	0.3	2	0.05	0.25	0.27	50	4	2.732	2.957	3.342	3.683
EP 397	EPDR-2004-2	■	2	0.4	2	0.1	0.3	0.37	50	4	2.727	2.949	3.332	3.670
EP 398	EPDR-2004-3	■	2	0.4	3	0.1	0.3	0.37	50	4	3.813	4.084	4.532	4.916
EP 399	EPDR-2004-4	■	2	0.4	4	0.1	0.3	0.37	50	4	5.079	5.470	6.108	6.653
EP 400	EPDR-2005-3	■	2	0.5	3	0.1	0.35	0.47	50	4	3.813	4.084	4.532	4.916
EP 401	EPDR-2005-4	■	2	0.5	4	0.1	0.35	0.47	50	4	4.890	5.202	5.704	6.126
EP 402	EPDR-2005-5	■	2	0.5	5	0.1	0.35	0.47	50	4	6.163	6.597	7.291	7.876
EP 403	EPDR-2005-6	■	2	0.5	6	0.1	0.35	0.47	50	4	7.241	7.713	8.458	9.078
EP 404	EPDR-2006-4	■	2	0.6	4	0.1	0.4	0.57	50	4	4.890	5.202	5.704	6.126
EP 405	EPDR-2006-6	■	2	0.6	6	0.1	0.4	0.57	50	4	7.241	7.713	8.458	9.078
EP 406	EPDR-2008-4	■	2	0.8	4	0.2	0.5	0.77	50	4	4.882	5.191	5.688	6.107
EP 407	EPDR-2008-6	■	2	0.8	6	0.2	0.5	0.77	50	4	7.018	7.396	7.983	8.464
EP 408	EPDR-2010-2	■	2	1	2	0.2	0.8	0.94	50	4	2.727	2.949	3.332	3.670